

PENGUNAAN APLIKASI SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS DALAM PEMETAAN TEMATIK UNTUK MEMONITOR KEBOCORAN PIPA PDAM (Studi Kasus : PDAM Unit Randublatung I, Kabupaten Blora)

Hanifatuzzulfa, Resiyana¹. Sunaryo, Dedy Kurnia¹. M., Adkha Yulianandha¹

¹Jurusan Teknik Geodesi S-1 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang,
Jalan Bendungan Sigura-gura No. 2 Lowokwaru, Kecamatan Sumbarsari, Kota Malang – resiyana96@gmail.com

KATA KUNCI: SIG, *pressure*, *velocity*, kebocoran air, EPANET.

ABSTRAK:

Perkembangan suatu daerah menyebabkan kebutuhan air bersih masyarakat semakin meningkat. Peningkatan kebutuhan air bersih tersebut harus diimbangi dengan optimalisasi produksi air bersih. Salah satu caranya yaitu meminimalisasikan kebocoran air. Sampai saat ini penanganan kebocoran PDAM Unit Randublatung I masih dilakukan secara konvensional. Oleh karena itu diperlukan sebuah metode yang dapat melakukan monitoring kebocoran air. Salah satu metode tersebut yaitu sistem informasi geografis (SIG). Metode SIG ini dilakukan dengan membuat pemetaan tingkat kehilangan air akibat kebocoran. Metode ini memperhitungkan nilai *base demand* dan pemakaian air berdasarkan waktu tertentu. Adapun tahapan dalam melakukan proses tersebut diawali dengan melakukan pengumpulan data spasial dan atribut. Data-data tersebut selanjutnya dilakukan simulasi menggunakan *software EPANET 2.0*. Hasil simulasi tersebut berupa data *pressure* (tekanan air) dan *velocity* (kecepatan aliran) yang digunakan sebagai parameter penentu tingkat kebocoran air. Kedua parameter tersebut masing-masing dilakukan *scoring* untuk mendapatkan klasifikasi tingkat kebocoran air yang dipresentasikan dalam bentuk peta tematik tingkat kebocoran air. Simulasi menggunakan *software EPANET* tersebut menghasilkan nilai *pressure* tertinggi pada *node* N8 sebesar 52,4 meter dan *velocity* tertinggi pada pipa P51 sebesar 0,18 m/s. Kondisi ini terjadi saat jam puncak (jam ke-10). Sedangkan saat aliran minimum (jam ke-21), nilai *pressure* tertinggi pada *node* N8 sebesar 52,43 meter dan *velocity* tertinggi pada pipa P51 sebesar 0,16 m/s. Nilai *pressure* dan *velocity* saat jam puncak dilakukan perhitungan tingkat kehilangan air. Tingkat kehilangan air yang dialami PDAM ini dapat dikategorikan rendah dan sedang. Tingkat kehilangan air rendah sebesar 3.610,56 m³, atau 7,77%, sedangkan tingkat kehilangan air sedang sebesar 12.841,69 m³ atau 27,64%.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan suatu daerah menyebabkan kebutuhan air bersih masyarakat semakin meningkat. Peningkatan kebutuhan air bersih tersebut harus diimbangi dengan optimalisasi produksi air bersih. Salah satu caranya yaitu meminimalisasikan terjadinya kehilangan air baik fisik maupun non fisik. Salah satu kehilangan fisik air tersebut yaitu masalah kebocoran air bersih.

Kebocoran air ini sering terjadi di berbagai daerah khususnya Kabupaten Blora. Berdasarkan data Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kabupaten Blora tahun 2016 terjadi kehilangan air sebesar 1.312.609,6 m³ atau 33,6% dari total air yang terdistribusi ke pelanggan. Sedangkan menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007, kehilangan air fisik seperti kebocoran maksimal sebesar 15% dari jumlah air yang terdistribusi.

Kebocoran air ini sangat merugikan pihak perusahaan jasa air bersih yaitu PDAM. Sampai saat ini penanganan kebocoran PDAM Unit Randublatung I masih dilakukan secara konvensional, sehingga volume air yang hilang juga semakin besar. Besarnya volume air yang hilang tersebut berpengaruh terhadap pendapatan yang diterima oleh pihak perusahaan. Selain merugikan pihak PDAM sebagai penyedia jasa, kehilangan air akibat kebocoran juga merugikan pihak pelanggan. Apabila terjadi kebocoran, maka akan berpengaruh terhadap kecukupan air bersih di lokasi-lokasi terjauh dari sumber air, sehingga kegiatan pelanggan dapat terganggu dalam melakukan aktivitasnya, seperti memasak, mandi, minum dll. Oleh karena itu diperlukan sebuah metode yang dapat

meminimalisasikan tingkat kebocoran tersebut. Salah satu metode yang digunakan yaitu sistem informasi geografis.

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan komponen yang terdiri dari *hardware*, *software*, data geografis, sumberdaya manusia yang bekerja sama untuk menangkap, menyimpan, memperbaiki, *updating*, mengelola, memanipulasi, mengintegrasikan, menganalisa, dan menampilkan data dalam suatu informasi berbasis geografis (Puntodewo, dkk., 2003). Sistem ini sudah banyak digunakan khususnya dalam bidang utilitas seperti inventarisasi jaringan air minum, perencanaan dan pemeliharaan jaringan pipa dll.

Penggunaan aplikasi SIG ini dapat diasumsikan dapat memonitor tingkat kebocoran yang terjadi. *Output* dari penggunaan aplikasi ini disajikan dalam bentuk peta tematik potensi kebocoran pipa PDAM. Pemanfaatan SIG diharapkan dapat meminimalisasikan tingkat kehilangan air akibat terjadinya kebocoran air bersih, sehingga dapat meningkatkan produktivitas pendapatan daerah.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu : 1). Bagaimana cara memonitor kebocoran pipa PDAM? 2). Bagaimana peran sistem informasi geografis dalam pemetaan tematik untuk memonitor kebocoran jaringan pipa PDAM?

1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1. Tujuan Penelitian: Penelitian ini bertujuan untuk 1). Mengetahui cara memonitor kebocoran pipa PDAM. 2). Mengetahui manfaat sistem informasi geografis dalam

memonitor kebocoran pipa air PDAM. 3). Mengetahui daerah pelayanan yang sering mengalami kebocoran pipa air bersih.

1.3.2. Manfaat Penelitian: Manfaat penelitian ini yaitu: 1). Penelitian ini dapat digunakan untuk mengetahui lokasi-lokasi yang berpotensi mengalami kebocoran air. 2). Penelitian ini dapat digunakan untuk mengetahui tingkat kebocoran air. 3). Penelitian ini dapat digunakan untuk mempermudah dalam memonitor kebocoran jaringan pipa air bersih. 4). Penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan dalam pengambilan kebijakan terkait memonitor jaringan pipa air bersih.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: 1). Faktor dalam penentu kebocoran jaringan pipa PDAM menggunakan hasil simulasi dari *software EPANET 2.0* berupa data *pressure* dan *velocity*. 2). Memonitor kebocoran dilihat dari klasifikasi tingkat kebocoran air. 3). Tingkat kebocoran pipa menggunakan data produksi air dan jumlah air yang terjual. 4). Parameter penentu kebocoran pipa PDAM menggunakan data tahun 2017. 5). Data pelanggan merupakan data pemilik pemilik bidang tanah.

1.5. Sistematika Penulisan

Bab I Pendahuluan menjelaskan latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan masalah penelitian, dan sistematika penulisan. Bab II Dasar Teori menjelaskan tentang teori-teori yang berhubungan dengan topik penelitian yang dilakukan, seperti sistem informasi geografis, peta tematik, basis data, jaringan distribusi, PDAM, *pressure*, *velocity*, kebocoran air, *software ArcGIS*, *software EPANET*. Bab III Metodologi Penelitian menguraikan bahan dan alat yang digunakan dalam melakukan penelitian, jadwal penelitian, diagram alir proses penelitian, dan tahapan penelitian. Bab IV Hasil dan Pembahasan menjelaskan tentang hasil penelitian dan melakukan analisa terhadap hasil tersebut, seperti analisa kebutuhan air, pola pemakaian air, jaringan pipa, hasil simulasi jaringan pipa, dan tingkat kebocoran. Bab V Penutup menguraikan tentang kesimpulan dari hasil penelitian dan memberikan saran agar penelitian ini bisa menghasilkan hasil yang lebih baik.

2. DASAR TEORI

2.1. PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum)

Di Indonesia, pengelolaan tersebut dilakukan oleh suatu instansi yang bernama Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM). Menurut Peraturan Menteri Dalam Negeri No. 2 tahun 2007 tentang organ dan kepegawaian perusahaan daerah air minum, PDAM merupakan badan usaha milik daerah yang bergerak di bidang pelayanan air minum. PDAM bertanggung jawab untuk menyediakan kebutuhan air bersih bagi masyarakat.

PDAM unit Randublatung I merupakan salah satu unit PDAM di Kabupaten Blora yang melayani 5 (lima) desa yaitu Sumberejo, Kediren, Wulung, Pilang, dan Randublatung. Pada tahun 2017, PDAM ini memiliki pelanggan aktif sejumlah 1984 pelanggan. PDAM ini mendapatkan sumber air baku dari sumur pompa yang terletak di desa Sumberejo, Randublatung. Sumur pompa tersebut memiliki spesifikasi *head* pompa sebesar 74 meter dan kapasitas sebesar 20 liter/detik dengan jam operasi selama 23 jam/hari.

2.2. Jaringan Distribusi Pipa

Menurut Joko (2010), jaringan distribusi merupakan jaringan pipa yang tersambung ke pelanggan. Sistem distribusi jaringan mempunyai fungsi pokok untuk mendistribusikan air yang telah memenuhi syarat ke seluruh daerah pelayanan.

2.2.1. Sistem Perpipaan: Menurut Giles dalam Joko (2010), sistem perpipaan distribusi konsumen dibedakan menjadi 2 (dua) yaitu pipa hantar distribusi dan pipa pelayanan distribusi. Pipa hantar distribusi terdiri dari pipa induk utama (*primary feeders*) dan pipa induk sekunder (*secondary feeders*). Sedangkan pipa pelayanan distribusi terdiri dari pipa pelayanan utama (*small distribution mains*) dan pipa pelayanan.

2.2.2. Sistem Pengaliran: Sistem pengaliran air bersih dilakukan dengan memperhatikan faktor kondisi topografi yang menghubungkan antara sumber air dengan pelanggan. Sistem ini berfungsi untuk memenuhi kebutuhan air pelanggan dengan tekanan yang mencukupi. Adapun sistem pengaliran air bersih (Joko, 2010) antara lain sistem gravitasi, sistem pemompaan, dan sistem gabungan.

2.2.3. Pola Jaringan Distribusi: Menurut Standar Nasional Indonesia 7509 Tahun 2011, jaringan distribusi merupakan rangkaian sistem Bentuk sistem jaringan distribusi yang digunakan pada PDAM unit Randublatung I yaitu sistem cabang. Adapun kelebihan dari sistem ini yaitu desain jaringan pipa memiliki bentuk sederhana, cocok digunakan pada daerah yang sedang berkembang, pengambilan tekanan pada titik manapun dapat dilakukan dengan mudah, pipa dapat ditambahkan apabila diperlukan, dan membutuhkan beberapa katup untuk mengoperasikan sistem.

2.2.4. Jenis Pipa Distribusi: Jenis pipa distribusi yang biasanya digunakan dalam jaringan distribusi air yaitu *Cost Iron* (CI), *Ductile Iron* (DI), *Asbestos Cement* (AC), dan *Polivinyll Chloride* (PVC). Pemilihan pipa distribusi harus dilakukan dengan tepat karena kondisi pipa akan berpengaruh terhadap kualitas dan kuantitas air. Menurut Putrabahar (2010), hal-hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan pipa yaitu bahan pipa dan pemasangan kedalaman pipa. Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan bahan pipa yaitu harga pipa, tekanan air maksimum, korosifitas pipa, kondisi lapangan, seperti beban lalu lintas, letak saluran air buangan, dan kepadatan penduduk. Sedangkan pemasangan kedalaman pipa disesuaikan dengan spesifikasi air yang digunakan.

2.2.5. Perlengkapan Pipa Distribusi: Menurut Putrabahar (2010), perlengkapan pipa pada jaringan distribusi antara lain *gate valve*, *check valve*, *air release valve*, *fire hydrant*, meter air, meter tekanan, bangunan perlintasan, serta sambungan pipa dan perlengkapannya.

2.3. Kebutuhan Air

Kebutuhan air adalah jumlah air yang diperlukan oleh suatu konsumen dengan mempertimbangkan kehilangan air dan kebutuhan untuk pemadam kebakaran (Putrabahar, 2010). Besarnya air yang digunakan untuk berbagai jenis penggunaan air tersebut dikenal sebagai pemakaian air.

Menurut Priangga dan Budisusanto (2015), kebutuhan air (*Base demand*) dapat dihitung menggunakan persamaan 2.1.

$$Base\ demand = \frac{Pemakaian\ air}{\sum\ pelanggan} \times 1000 \times \frac{1}{2592000} \quad (2.1)$$

Hasil perhitungan tersebut digunakan sebagai *input* dalam melakukan simulasi jaringan distribusi pipa. Hasil tersebut dimasukkan dalam setiap *node* jaringan distribusi.

2.4. Fluktuasi Penggunaan Air

Dalam Standar Nasional Indonesia Nomor 7509 Tahun 2011, fluktuasi penggunaan air merupakan variasi pemakaian air oleh konsumen setiap satuan waktu dalam satuan periode. Penggunaan air bersih biasanya mengalami peningkatan dan penurunan disesuaikan dari kebutuhan konsumen tersebut. Adapun kebutuhan akibat fluktuasi penggunaan air dapat dibagi menjadi 3 (tiga) (Hadisoebroto, dkk dalam Yossia, 2013) yaitu 1). Kebutuhan harian rata-rata, yaitu rata-rata pemakaian air dalam satu hari baik kebutuhan domestik maupun non domestik. Besarnya pemakaian air diperoleh dari jumlah pemakaian air selama satu tahun dibagi jumlah hari dalam satu tahun. 2). Kebutuhan hari maksimum, yaitu kebutuhan air terbesar dalam satu hari selama satu tahun. Besarnya faktor hari maksimum diperoleh dengan cara membandingkan antara kebutuhan hari maksimum dengan kebutuhan harian rata-rata. 3). Kebutuhan jam puncak, yaitu kebutuhan air terbesar dalam satu jam selama satu hari. Besarnya faktor jam puncak diperoleh dengan cara membandingkan antara kebutuhan jam puncak dengan kebutuhan harian rata-rata

2.5. Kebocoran Air

Kebocoran air merupakan perbedaan antara jumlah air yang diproduksi oleh produsen air dan jumlah air yang terjual kepada konsumen sesuai dengan yang tercatat di meter air pelanggan (Kodoatie dan Sjarief, 2008). Kebocoran air dapat bersifat fisik dan non fisik (administrasi).

No.	Uraian	Kriteria
1	Faktor hari maksimum	1.5 – 2.0
2	Kecepatan aliran air dalam pipa	
	a. Kecepatan minimum	0.3 m/s
	b. Kecepatan maksimum	
	1) Pipa PVC	3.0 m/s
	2) Pipa DCIP	6.0 m/s
3	Tekanan air dalam pipa	
	a. Tekanan minimum	10 – 15 m
	b. Tekanan maksimum	
	1) Pipa PVC	60 m
	2) Pipa DCIP	100 m

Tabel 2. 1 Kriteria Pipa Distribusi

(Sumber : Departemen Pekerjaan Umum No. 18/PRT/M/2007)

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007, kehilangan air fisik maksimal 15% dengan komponen utama penyebab terjadinya kebocoran yaitu kebocoran pada pipa transmisi dan pipa induk, kebocoran dan luapan pada tangki *reservoir*, serta kebocoran pada pipa dinas hingga meter pelanggan. Besarnya persentase jumlah air tidak tercatat yang disebabkan karena kebocoran air dapat diambil sebagai patokan dari tingkat kemampuan sistem pengadaan air

bersih. Sistem yang mempunyai kurang dari 15% tingkat kebocoran total dianggap memiliki kemampuan sangat bagus dalam pengendalian sistem jaringan distribusi air bersih. Sedangkan sistem distribusi air dengan tingkat kebocoran 15-43% dianggap sedang, dan tingkat kebocoran lebih dari 43% dianggap tinggi, sehingga harus dilakukan upaya-upaya perbaikan untuk menguranginya.

Salah satu metode yang digunakan untuk menghitung kebocoran air yaitu berdasarkan jumlah konsumsi air. Menurut Djamal, dkk dalam Utami dan Suryani (2016), nilai kehilangan air akibat kebocoran dapat dihitung dari selisih jumlah air yang dipasok dengan jumlah air yang dikonsumsi. Sedangkan tingkat kehilangan air akibat kebocoran dapat dihitung menggunakan persamaan 2.3.

$$\text{Tingkat Kebocoran} = \frac{\text{Kehilangan air}}{\text{Jumlah air yang dipasok}} \times 100\% \quad (2.3)$$

2.5.1. Pressure (Tekanan Air): Laju kebocoran dalam jaringan distribusi menjadi satu fungsi tekanan pompa. Menurut Farley, dkk (2008), terdapat hubungan antara laju aliran kebocoran dan tekanan yaitu semakin tinggi atau semakin rendah tekanan air yang dikeluarkan, maka semakin tinggi atau rendah besar kebocoran yang dihasilkan (Tekanan lebih rendah 10% = kebocoran 10% lebih rendah).

No	Pressure (m)	Skor
1	< 10	1
2	10 – 26	2
3	27 – 43	3
4	44 – 60	4
5	> 60	5

Tabel 2. 2 Kriteria Tingkat Tekanan Air Bersih
(Sumber : Permen Pekerjaan Umum No. 18/PRT/M/2007)

2.5.2. Velocity (Kecepatan Aliran): Sistem jaringan perpipaan didesain untuk membawa suatu kecepatan aliran tertentu. Kriteria kecepatan aliran yang diizinkan sebesar 0.3-3 m/s. Kecepatan aliran yang tinggi dapat menambah kemungkinan timbulnya pukulan air, menimbulkan suara berisik, dan menyebabkan ausnya permukaan dalam pipa yang dapat menyebabkan merusak peralatan *plumbing* pada pipa (Joko, 2010). Sedangkan kecepatan aliran rendah bisa menimbulkan korosifitas pada pipa dan tidak mampu mendorong endapan dalam pipa, sehingga mempengaruhi kualitas air.

No	Velocity (m/s)	Skor
1	< 0.1	1
2	0.1 – 3.0	3
5	>3.0	5

Tabel 2. 3 Kriteria Tingkat Kecepatan Aliran Air Bersih
(Sumber : Permen Pekerjaan Umum No. 18/PRT/M/2007)

2.6. Klasifikasi Tingkat Kebocoran

Klasifikasi tingkat kebocoran pipa air bersih didapatkan dengan melakukan metode *scoring*. *Scoring* merupakan pemberian skor pada masing-masing kelas pada setiap parameter yang dapat

ditentukan secara subyektif dan disesuaikan dengan pemanfaatan variabel tersebut, serta keperluan analisis studi (Astuti, 2017).

Metode *scoring* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menjumlahkan parameter-parameter penelitian tersebut dan memperhitungkan interval kelas. Penentuan interval kelas dihitung dengan memperhitungkan skor tertinggi dan terendah hasil penjumlahan skor setiap parameter. Menurut Kingma dalam Wismarini, dkk (2017), interval kelas tersebut dapat dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 2.4.

$$K_i = \frac{X_t - X_r}{K} \quad (2.4)$$

Keterangan :

K_i : Kelas interval
 X_t : Data tertinggi
 X_r : Data terendah
 K : Jumlah kelas yang diinginkan

Berdasarkan skor terhadap parameter yang digunakan, klasifikasi tingkat kebocoran dapat dilihat pada tabel 2.4.

Kategori	Skor	Kriteria
Rendah	1 – 4	Nilai tekanan air sebesar <10 meter atau 10-43 meter dan kecepatan aliran sebesar <0,3 m/s
Sedang	5 – 8	Nilai tekanan air sebesar 44-60 meter dan kecepatan aliran sebesar <0,3 m/s atau 0,3-3 m/s
Tinggi	9 – 11	Nilai tekanan air sebesar 44-60 meter atau >60 meter dan kecepatan aliran sebesar >0,3 m/s

Tabel 2. 4 Klasifikasi Tingkat Kebocoran Pipa
 (Sumber : Permen Pekerjaan Umum No. 18/PRT/M/2007)

2.7. Pengertian Sistem Informasi Geografis

Menurut Indarto (2013), sistem informasi geografis merupakan sebuah sistem informasi yang didesain untuk dapat bekerja dengan sumber data spasial. Data spasial merupakan data-data yang memiliki koordinat geografis.

Sedangkan menurut Star dalam Prahasta (2002), SIG merupakan sistem informasi yang dirancang untuk bekerja dengan data yang tereferensi secara spasial atau sistem basisdata dengan kemampuan khusus dalam mengolah data yang tereferensi spasial selain operasi-operasi yang dikenakan terhadap data tersebut.

2.7.1. Subsistem SIG: Menurut Prahasta (2002), subsistem SIG dapat diuraikan menjadi 4 (empat) jenis data yaitu 1). *Input*, berfungsi untuk mengumpulkan, mempersiapkan data spasial dan data atribut, serta mengkonversi format-format data asli menjadi format SIG. 2). *Output*, berfungsi untuk menampilkan hasil basisdata yang telah disusun, baik dalam bentuk *hardcopy* maupun *softcopy*. 3). *Management*, berfungsi untuk mengorganisasikan data spasial dan data atribut ke dalam suatu basisdata, sehingga data tersebut dapat dipanggil, *update*, *edit* secara lebih mudah. 4). *Manipulation and analys*, berfungsi untuk melakukan manipulasi dan pemrosesan data untuk menghasilkan informasi-informasi yang diinginkan.

2.7.2. Kemampuan Analisis SIG: Menurut Prahasta (2002), adapun kemampuan SIG dalam analisis dibedakan menjadi 2 (dua) yaitu analisis spasial dan analisis atribut. Analisis spasial terdiri dari klasifikasi, jaringan (*network*), *overlay*, *buffering*, analisis 3D, dan *digital image processing*. Sedangkan analisis atribut terdiri dari operasi dasar pengelolaan basisdata dan perluasan operasi basisdata.

2.7.3. Topologi: Topologi merupakan hubungan antar data spasial untuk melakukan analisis spasial (Indarto, 2013). Semua hubungan antara data spasial harus digunakan secara logis dengan resiko struktur data yang lebih kompleks. Adapun hubungan topologis pada data spasial antara lain : 1). *Point-point relationship*. 2). *Point-line relationship*. 3). *Point-area relationship*. 4). *Line-line relationship*. 5). *Line-area relationship*. 6). *Area-area relationship*.

2.8. Basis Data

Menurut Kusri (2006), basis data merupakan kumpulan data yang saling berhubungan dan disimpan secara bersama tanpa terjadi pengulangan (*redundancy*) untuk memenuhi kebutuhan. Sedangkan sistem basis data dapat didefinisikan sebagai perpaduan antara basis data dan sistem manajemen basis data. Tujuan pembuatan basis data yaitu mengatur data sehingga diperoleh kemudahan, ketepatan, dan kecepatan dalam pengambilan kembali.

2.9. Peta Tematik

Peta merupakan gambaran sebagian atau seluruh permukaan bumi pada bidang datar dengan skala dan sistem proyeksi tertentu (Basuki, 2011). Berdasarkan isinya peta dibedakan menjadi 2 (dua), salah satunya yaitu peta tematik. Menurut BIG (2009), peta tematik dapat diartikan sebagai gambaran dari sebagian permukaan bumi yang dilengkapi dengan informasi tertentu baik di atas maupun di bawah permukaan bumi yang mengandung tema tertentu, seperti peta jaringan jalan, kesesuaian lahan, jenis tanah, curah hujan. Peta tematik memiliki ciri khusus yang tidak ditemukan pada peta lain yaitu memiliki tema khusus, sumber data berasal dari berbagai peta, dan informasi yang disajikan terbatas pada tema tertentu.

2.10. Software EPANET

EPANET adalah program komputer yang menggambarkan simulasi hidrolis dalam jaringan pipa. Jaringan itu sendiri terdiri dari pipa, *node* (titik koneksi), pompa, katup dan tangki atau reservoir. EPANET dikembangkan oleh *Water Supply and Water Resources Division USEPA'S National Risk Management Research Laboratory* dan pertama kali dikenalkan pada tahun 1993. Pada EPANET dapat dilihat aliran air yang mengalir di tiap pipa, kondisi tekanan air di tiap titik dan lain sebagainya (Lewis, 2000). Adapun kemampuan yang dimiliki *software* ini yaitu kemampuan analisa pada penempatan jaringan, pemodelan terhadap kecepatan pompa, menghitung energi pompa dan biaya, memungkinkan dimasukkannya kategori kebutuhan (*demand*) ganda pada *node*, model *pressure* yang bergantung pada pengeluaran aliran, dan dapat dioperasikan dengan sistem dasar tangki dan kontrol waktu yang kompleks.

Simulasi menggunakan *software EPANET* digunakan untuk mengetahui pengaruh dari dalam jaringan pipa. Menurut Lewis (2000), data komponen jaringan yang dibutuhkan dalam melakukan simulasi ini antara lain *node*, pipa, *reservoir*, dan pompa.

2.11. Software ArcGIS

ArcGIS merupakan perangkat lunak (*software*) yang dikeluarkan oleh perusahaan geospasial ESRI (*Environmental System Research Institute*). *Software* ini terdiri dari beberapa *software* antara lain Desktop GIS, Server GIS, ESRI Data, dan Mobile GIS. Tetapi penggunaan *ArcGIS Desktop* lebih umum dan luas dibandingkan dengan *software* lainnya. Menurut Raharjo dan Ikhsan (2015), *software* yang terdapat dalam *ArcGIS Desktop* yaitu 1). *ArcMap*, yaitu aplikasi utama dalam *ArcGIS Desktop*. *Software* yang berfungsi untuk melakukan *input* data, analisis, dan *output* data spasial. 2). *ArcCatalog*, yaitu aplikasi yang berfungsi untuk pengelolaan data spasial meliputi *input*, konversi, dan analisis data. Aplikasi ini dapat dianalogikan sebagai *file explorer* pada *OS Windows*. 3). *ArcScene* dan *ArcGlobe*, yaitu aplikasi yang digunakan untuk visualisasi 3D meliputi tampilan perspektif, bernavigasi, serta berinteraksi dengan data fitur 3D dan raster. Perbedaan dari kedua aplikasi ini yaitu terletak pada cakupan datanya. *Arcscene* menampilkan visualisasi dengan cakupan lebih kecil, seperti kota kecil, kawasan hutan, bendungan dll. Sedangkan *ArcGlobe* menampilkan visualisasi dengan cakupan lebih besar. 4). *ArcReader*, yaitu *software open source* yang dapat diunduh secara bebas tanpa masa *trial*. *Software* ini berfungsi untuk membaca proyek GIS yang telah dibuat oleh *Publisher* pada *ArcMap*.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian tentang penggunaan SIG dalam mendeteksi kebocoran pipa PDAM dilaksanakan di unit PDAM Kecamatan Randublatung, Kabupaten Blora. Adapun batas administrasi kecamatan Randublatung yaitu 1). Sebelah Utara berbatasan dengan Kecamatan Banjarejo, dan Jepon. 2). Sebelah Selatan berbatasan dengan Kecamatan Kradenan dan Kabupaten Ngawi. 3). Sebelah Timur berbatasan dengan Kecamatan Kradenan dan Kedungtuban. 4). Sebelah Barat berbatasan dengan Kecamatan Jati.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

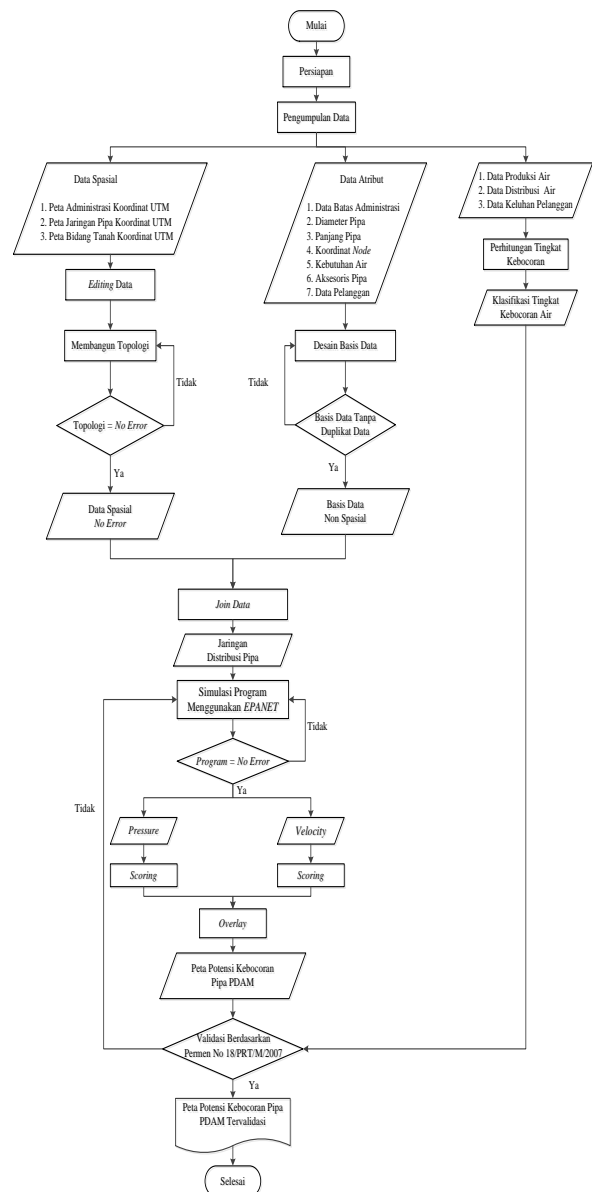
Alat dan bahan yang digunakan dalam melakukan penelitian ini yaitu :

3.2.1. Alat Penelitian: Alat yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain : laptop Acer E1-470, GPS *Handheld*, *software ArcGIS 10.3*, *software EPANET 2.0*, *software EPACAD*, *microsoft office 2016*, printer, alat tulis.

3.2.2. Bahan Penelitian: Bahan yang digunakan untuk penelitian ini antara lain : peta administrasi skala 1 : 5000, peta bidang tanah skala 1 : 5000, peta jaringan pipa PDAM skala 1 : 5000, data batas administrasi, diameter pipa, panjang pipa, koordinat *node*, aksesoris pipa, kebutuhan air, data produksi air, data air yang terjual, jumlah pelanggan, dan keluhan pelanggan.

3.3. Tahapan Penelitian

Secara garis besar tahapan dari penelitian dapat dilihat pada diagram alir yang disajikan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian
Berdasarkan gambar 3.2 tahapan penelitian dapat dirinci sebagai berikut :

1. Tahap persiapan
Tahap persiapan merupakan tahapan awal dalam proses penelitian yang yaitu studi literatur, penyusunan proposal, dan pembuatan surat perizinan penelitian. Studi literatur yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada jurnal-jurnal yang sudah melakukan penelitian sebelumnya dan buku penunjang terkait penelitian. Penyusunan proposal digunakan untuk mengetahui gambaran terkait penelitian yang akan dilakukan. Sedangkan pembuatan surat izin penelitian dilakukan ke instansi-instansi terkait, seperti PDAM Kabupaten Blora, PDAM Unit Randublatung I, Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang, dan Badan Pengelola Pendapatan dan Keuangan Aset Daerah Kabupaten Blora.
2. Pengumpulan data
Tahap ini merupakan tahap mengumpulkan data-data yang dibutuhkan dalam penelitian baik berupa data spasial maupun atribut. Adapun data spasial yang digunakan yaitu

- a. Peta administrasi, digunakan untuk mengetahui batas-batas wilayah penelitian. Peta ini diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Blora.
 - b. Peta bidang tanah, digunakan untuk memodelkan rumah-rumah yang berlangganan air bersih PDAM. Peta ini diperoleh dari Badan Pengelola Pendapatan dan Keuangan Aset Daerah Kabupaten Blora.
 - c. Peta jaringan pipa, digunakan untuk memodelkan jaringan distribusi air bersih. Peta ini diperoleh dari PDAM Kabupaten Blora.
- Sedangkan data atribut yang digunakan dalam penelitian ini yaitu
- a. Aksesoris pipa, digunakan untuk mengetahui lokasi komponen-komponen jaringan pipa, seperti *gate valve*, hidran, pompa. Data ini diperoleh dari PDAM Kabupaten Blora.
 - b. Diameter pipa, panjang pipa, koordinat *node*, elevasi, kebutuhan air digunakan sebagai data *input* dalam melakukan simulasi jaringan pipa. Data kebutuhan air kemudian dihitung menggunakan persamaan 2.1. Analisis ini dilakukan dengan memperhitungkan data pemakaian air dan jumlah pelanggan. Data ini diperoleh dari PDAM Kabupaten Blora.
 - c. Data pelanggan PDAM diperoleh dari PDAM Kabupaten Blora. Data tersebut kemudian dipasialkan dengan cara melakukan survei lapangan yaitu menandai titik-titik pelanggan berdasarkan nomor pelanggan menggunakan alat *GPS Handheld*.
3. *Editing Data*
Tahap ini dilakukan dengan cara mengecek kelengkapan data yang digunakan dalam penelitian dan memilih lokasi penelitian.
 4. *Topologi*
Topologi dilakukan untuk membuat keterkaitan antar data spasial dan menghilangkan kesalahan-kesalahan topologi, seperti *gap*, *intersect*, *overlap*, *dangles*.
 5. *Penyimpanan Data Spasial*
Apabila data-data non spasial sudah berhasil dilakukan desain basis data, maka data tersebut dilakukan penyimpanan untuk menjalankan proses selanjutnya. Apabila data-data non spasial masih mengandung kesalahan, maka data tersebut dilakukan proses desain basis data ulang.
 6. *Desain Basis Data*
Tahap ini dilakukan untuk merancang basis data yang digunakan dalam penelitian sehingga dapat mengetahui hubungan antar data.
 7. *Penyimpanan Data Non Spasial*
Apabila data-data non spasial sudah berhasil dilakukan desain basis data, maka data tersebut dilakukan penyimpanan untuk menjalankan proses selanjutnya. Apabila data-data non spasial masih mengandung kesalahan, maka data tersebut dilakukan proses desain basis data ulang.
 8. *Join Data*
Tahap ini merupakan tahap penggabungan data spasial dan data atribut.
 9. *Pemodelan Jaringan Distribusi Pipa*
Tahap ini digunakan untuk memodelkan jaringan distribusi pipa air bersih agar pemodelan yang dihasilkan mendekati kondisi jaringan *existing*. Tahap ini berupa peta tematik jaringan distribusi pipa PDAM.

Jaringan distribusi pipa tersebut memiliki format *dxg*, sehingga harus dilakukan *export* data menjadi format yang dapat dibaca oleh *software* *EPANET* (*.inp). Proses *export* data tersebut menggunakan *software* *EPACAD*.

10. Simulasi Program

Tahap ini digunakan untuk melakukan simulasi distribusi jaringan pipa menggunakan *software* *EPANET 2.0*. Apabila dalam tahap ini sudah tidak ada *error*, maka dapat dilakukan proses analisis data. Proses ini menghasilkan data parameter hidrolik yaitu *pressure* dan *velocity*. Hasil tersebut selanjutnya dilakukan konversi data menjadi format *dxg* agar dapat dilakukan analisis pada tahap berikutnya.

11. Analisis Data

Tahap ini digunakan untuk melakukan analisa penentuan kebocoran pipa PDAM yang ditinjau dari segi hidroliksnya yaitu data *pressure* dan *velocity*. Data-data tersebut dilakukan proses *scoring* dan *overlay*, sehingga dapat diketahui lokasi-lokasi yang memiliki potensi kebocoran pipa.

12. Validasi Data

Validasi data digunakan untuk mengecek hasil pengolahan data dengan data di lapangan. Pengecekan potensi kebocoran air menggunakan data laporan produksi air dan distribusi air yang diperoleh dari pihak PDAM. Data tersebut selanjutnya dihitung selisihnya untuk mendapatkan besarnya kehilangan air akibat kebocoran, serta mengetahui tingkat kebocoran air yang terjadi pada jaringan distribusi pipa tersebut. Selain itu, tingkat kebocoran juga ditentukan dari dampak yang ditimbulkan akibat kebocoran air. Data tersebut dapat dilihat pada laporan keluhan pelanggan.

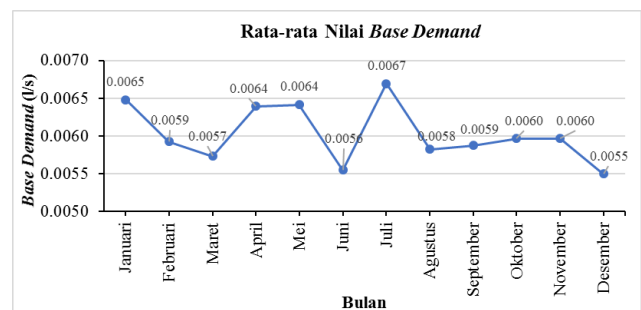
13. Hasil Pengolahan Data

Hasil dari pengolahan dan analisis data tersebut berupa peta potensi kebocoran pipa PDAM yang sudah dilakukan validasi terhadap data lapangan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Perhitungan Base Demand

Kebutuhan air merupakan banyaknya air yang dikonsumsi oleh seseorang untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Berdasarkan laporan PDAM Kabupaten Blora, jumlah pelanggan yang menggunakan jasa penyedia air bersih PDAM Unit Randublatung I per Desember 2017 mencapai 1.984 orang. Pelanggan terbanyak PDAM Unit Randublatung I berada di Desa Sumberejo yaitu 494 pelanggan yang secara relatif sebanyak 24,9% dari total pelanggan. Sedangkan jumlah pelanggan yang paling sedikit berada di Desa Kediren yaitu 320 pelanggan yang secara relatif sebanyak 16,1% dari total pelanggan.



Grafik 4. 1 Rata-rata Nilai Base Demand

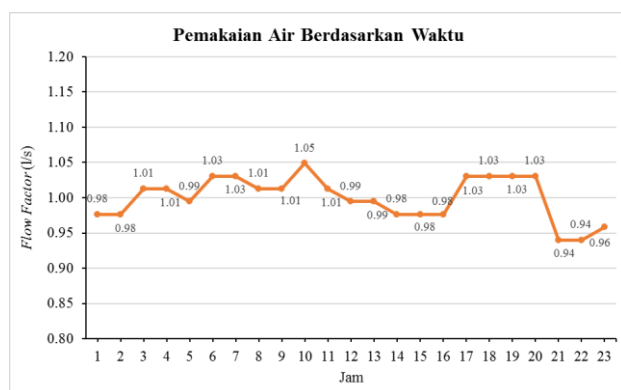
Banyaknya pelanggan yang menggunakan jasa penyedia air bersih akan berpengaruh terhadap beban kebutuhan pada setiap

node yang terdapat pada jaringan pipa. Selain itu juga dipengaruhi oleh jumlah pemakaian setiap bulannya. Hal ini dikarenakan jumlah pemakaian air setiap bulan akan berbeda-beda yang dapat dipengaruhi oleh faktor musim. Adapun data hasil perhitungan kebutuhan air (*base demand*) pelanggan dapat dideskripsikan pada grafik 4.1.

Berdasarkan pada grafik 4.1 dapat diketahui bahwa rata-rata pemakaian air pelanggan berbeda-beda. Nilai kebutuhan air tertinggi terjadi pada bulan Juli sebesar 17.357 m³/bulan, sedangkan kebutuhan air terendah terjadi pada bulan Desember sebesar 14.262 m³/bulan. Kebutuhan air rata-rata pelanggan PDAM Unit Randublatung I ini sebesar 15,627 m³/bulan atau 0,006 l/s. Nilai kebutuhan air per detik tersebut akan didistribusikan pada setiap *junction* atau *node* jaringan pipa. Nilai tersebut digunakan sebagai nilai dasar untuk mengetahui kebutuhan air (*base demand*) pelanggan sebagai beban pada *node*.

4.2. Hasil Pemakaian Air

Fluktuasi pemakaian air digunakan untuk mengetahui kebiasaan konsumsi air digunakan sehari-hari oleh pelanggan. Fluktuasi pemakaian air ini dapat diketahui dengan melakukan pembacaan *watermeter* induk yang dilakukan selama 24 jam. Berdasarkan tabel 4.3 sistem operasi jaringan pipa PDAM Unit Randublatung I berlangsung selama 23 jam. Hal ini dikarenakan pada jam 23.00 WIB sistem operasi dinonaktifkan.



Grafik 4.2 Pemakaian Air Berdasarkan Waktu

Fluktuasi pemakaian tertinggi terjadi pada jam 09.00 – 10.00 WIB dengan nilai *flow factor* sebesar 1,05 liter/detik. Pada kondisi *flow factor* tertinggi tersebut terjadi pemakaian air yang besar. Hal ini disebabkan karena pada kondisi waktu tersebut perilaku konsumen dalam menggunakan air tinggi untuk melakukan aktivitasnya. Sedangkan pola pemakaian terendah terjadi pada jam 20.00 – 22.00 WIB dengan nilai *flow factor* sebesar 0,94 liter/detik. Pada kondisi *flow factor* yang rendah tersebut disebabkan karena pada kondisi waktu tersebut pelanggan hanya menggunakan air untuk kondisi tertentu dan bahkan tidak menggunakan air dalam melakukan aktivitasnya.

4.3. Hasil Jaringan Pipa

Jaringan pipa PDAM Unit Randublatung I menggunakan sistem pengaliran pemompaan. Hal ini dikarenakan daerah ini memiliki ketinggian yang relatif datar, sehingga diperlukan suatu sistem untuk meningkatkan tekanan air agar air dapat terdistribusi ke pelanggan. Jaringan pipa ini menggunakan sebuah sumur yang digunakan sebagai sumber air baku. Sumur ini terletak di Desa Sumberejo, Kecamatan Randublatung yang memiliki kedalaman 35 meter. Adapun spesifikasi pompa yang digunakan pada sumur

tersebut yaitu *head* pompa sebesar 74 meter dan memiliki kapasitas 20 liter/detik.

Jaringan pipa tersebut dilakukan proses simulasi yang bertujuan untuk mendapatkan parameter-parameter penyebab kebocoran yaitu *pressure* dan *velocity*. Simulasi ini menggunakan *software* EPANET. Pembuatan jaringan pada *software* ini perlu memasukkan aksesoris-aksesoris pipa seperti *node*, pipa, *reservoir*, dan pompa.

No.	Diameter Pipa (mm)	Jenis Pipa	Jumlah Pipa
1	22	PVC	75
2	26	PVC	15
3	32	PVC	64
4	48	PVC	29
5	60	PVC	47
6	89	PVC	13
7	114	PVC	33
8	165	PVC	34

Tabel 4. 1 Pipa PDAM Unit Randublatung I

4.4. Hasil Analisa Simulasi Jaringan Pipa

Berdasarkan hasil simulasi EPANET, saat kondisi jam puncak, nilai *pressure* tertinggi terjadi pada *node* N8 sebesar 52,41 meter dan *pressure* terendah terjadi pada *node* N208 sebesar 38,67 meter. Sedangkan saat kondisi aliran minimum, nilai *pressure* tertinggi terjadi pada *node* N8 sebesar 52,43 meter dan *pressure* terendah terjadi pada *node* N208 sebesar 38,74 meter. Nilai *pressure* terendah tersebut masih memenuhi kriteria yang ditentukan berdasarkan Permen Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007.

Sedangkan nilai *velocity* atau kecepatan aliran yang terjadi pada saat kondisi jam puncak, nilai *velocity* terendah sebesar 0 m/s yang terjadi pada 56 pipa dengan diameter yang bervariasi dan kecepatan tertinggi terjadi pada pipa P51 dengan diameter ½ inch sebesar 0,18 m/s. Pada kondisi aliran minimum, nilai *velocity* terendah sebesar 0 m/s yang terjadi pada 56 pipa dengan diameter yang bervariasi dan kecepatan tertinggi terjadi pada pipa P51 dengan diameter ½ inch sebesar 0,16 m/s.

Menurut Permen Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007, nilai *velocity* tersebut tidak memenuhi standar aliran di dalam pipa sebesar 0,3 – 3 m/s. Nilai *velocity* yang paling rendah tersebut dapat mengindikasikan tidak adanya aliran yang terjadi pada pipa tersebut dan dapat menandakan terjadinya kebocoran. Kondisi ini biasanya terjadi karena adanya *tapping* ilegal yang terjadi pada sistem jaringan tersebut. Selain itu, kondisi tersebut juga bisa menyebabkan tidak mampunya air untuk mendorong endapan yang ada dalam pipa, sehingga dapat mempengaruhi kualitas air yang didistribusikan ke pelanggan. Kondisi tersebut juga menyebabkan pada lokasi yang terjauh dari sumber air baku tidak mendapat distribusi air bersih. Oleh karena itu diperlukan tandon atau *reservoir* tambahan untuk dapat menjangkau lokasi-lokasi yang terjauh dari sumber air baku.

4.5. Hasil Tingkat Kebocoran

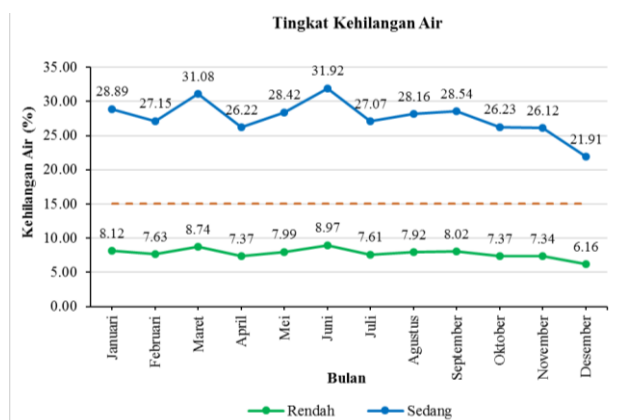
Berdasarkan proses klasifikasi tingkat kebocoran, dapat diketahui bahwa kebocoran yang terjadi di PDAM Unit Randublatung I tergolong rendah dan sedang. Kebocoran rendah memiliki rentang nilai 1 – 4. Kebocoran ini merupakan kebocoran kecil

yang menyebabkan keluarnya sedikit air atau rembesan yang terlihat di permukaan. Kebocoran sedang memiliki rentang 5 – 8. Kebocoran ini merupakan kebocoran sedang yang dapat menyebabkan timbulnya genangan air, sehingga secara fisik dapat terlihat di permukaan tanah. Sedangkan kebocoran tinggi memiliki rentang 9 – 11. Kebocoran ini bisa menyebabkan pipa pecah, sehingga timbulnya semburan air yang besar.

Pada saat kondisi jam puncak (jam ke-10), kebocoran rendah terjadi pada 89 pipa dan kebocoran sedang terjadi pada 221 pipa. Kebocoran rendah dipresentasikan dengan pipa yang berwarna hijau. Kebocoran tersebut terjadi di Desa Randublatung, Kediren, Wulung, dan Pilang. Tetapi sebagian besar kebocoran rendah terjadi di Desa Randublatung. Hal ini dikarenakan desa tersebut merupakan lokasi terjauh dari pelayanan PDAM Unit Randublatung I. Sedangkan kebocoran sedang dipresentasikan dengan pipa yang berwarna biru. Kebocoran ini terjadi di Desa Sumberejo, Kediren, Wulung, dan Pilang. Tetapi sebagian besar kebocoran sedang terjadi di Desa Sumberejo. Hal ini dikarenakan lokasi tersebut merupakan lokasi yang berdekatan dengan sumber air baku, sehingga terjadi perubahan tekanan dan kecepatan aliran yang cukup besar.

Pada kondisi aliran minimum (jam ke-21), terjadi kebocoran rendah terjadi pada 89 pipa dan kebocoran sedang terjadi pada 221 pipa. Kebocoran rendah dipresentasikan dengan pipa yang berwarna hijau. Kebocoran ini terjadi di Desa Randublatung, Kediren, Wulung, dan Pilang. Tetapi sebagian besar kebocoran rendah terjadi di Desa Randublatung. Sedangkan kebocoran sedang dipresentasikan dengan pipa yang berwarna biru. Kebocoran ini terjadi di Desa Sumberejo, Kediren, Wulung, dan Pilang. Tetapi sebagian besar kebocoran sedang terjadi di Desa Sumberejo.

Tingkat kebocoran hasil simulasi tersebut perlu dilakukan validasi data untuk mengetahui lokasi-lokasi kebocoran tersebut sesuai dengan kondisi lapangan. Validasi dilakukan dengan menggunakan data laporan bulanan pihak PDAM Kabupaten Blora. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa pada tahun 2017, PDAM Unit Randublatung I mampu memproduksi air sebanyak 555.893 m³ dengan rata-rata distribusi sebesar 46.324,417 m³/bulan. Sedangkan air yang terjual sebanyak 358.466 m³ dengan rata-rata air terjual sebesar 29.872,167 m³/bulan. Sehingga pihak PDAM mengalami kerugian air sebesar 197.427 m³ dengan rata-rata tingkat kehilangan air sebesar 35,41%. Nilai kehilangan air tertinggi terjadi pada bulan Juni sebesar 19.111 m³ dengan tingkat kehilangan air sebesar 40,89%. Sedangkan kehilangan air terendah terjadi pada bulan Desember sebesar 11.039 m³ dengan tingkat kehilangan air sebesar 28,06%.



Grafik 4. 3 Tingkat Kehilangan Air

Berdasarkan hasil pengolahan data yang telah dilakukan dapat dilakukan perhitungan yang menghasilkan jumlah kebocoran rendah sebesar 3.610,56 m³ atau 7,77%. Sedangkan jumlah kebocoran sedang yang dihasilkan sebesar 12.841,69 m³ atau 27,64%. Klasifikasi tingkat kebocoran yang dihasilkan tersebut sesuai dengan Permen Pekerjaan Umum No. 18/PRT/M/2007 yaitu apabila tingkat kebocoran kurang dari 15%, maka lokasi tersebut termasuk kebocoran rendah. Apabila tingkat kebocorannya 15-43%, maka lokasi tersebut termasuk kebocoran sedang.

Kebocoran air juga dapat dilihat dari riwayat keluhan pelanggan yang disajikan dalam bentuk laporan tahunan. Pada lokasi penelitian kebocoran air dapat menyebabkan terjadinya pipa bocor, meteran air bocor, klem *saddle* bocor, dan klem *saddle* buntu. Adapun tingkat kebocoran air berdasarkan jumlah kejadian per tahun dapat dilihat pada tabel 4.12.

Desa/ Kelurahan	Dampak Kebocoran Air Per Tahun			Tingkat Kebocoran
	Pipa Pecah	Pipa Bocor atau Meteran Air Bocor	Klem <i>saddle</i> bocor atau buntu	
Sumberejo	0	45	15	Sedang
Kediren	0	36	11	Sedang
Wulung	0	38	12	Sedang
Pilang	0	13	5	Rendah
Randublatung	0	29	7	Rendah

Tabel 4. 2 Tingkat Kebocoran Berdasarkan Data Keluhan Pelanggan

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan pada bab-bab sebelumnya, penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Nilai rata-rata kebutuhan air atau *base demand* di PDAM Unit Randublatung I sebesar 0,006 liter/detik yang digunakan sebagai beban pada setiap *node* jaringan pipa. Nilai tersebut dipengaruhi oleh pemakaian air rata-rata dan jumlah pelanggan yang mengonsumsi air tersebut.
2. Nilai *flow factor* pemakaian air tertinggi yang terjadi pada jam ke-10 sebesar 1,05 liter/detik, sedangkan saat pemakaian air yang terjadi pada jam ke-21 sebesar 0,94 liter/detik. Hal ini menunjukkan bahwa pada pemakaian air tertinggi merupakan kondisi jam puncak, sedangkan pemakaian air terendah merupakan kondisi aliran minimum.
3. Pada saat jam puncak (jam ke-10), nilai *pressure* tertinggi berada pada *node* N8 sebesar 52,41 meter dan *velocity* tertinggi pada pipa P51 sebesar 0,18 m/s. Sedangkan saat aliran minimum (jam ke-21), nilai *pressure* tertinggi berada pada *node* N8 sebesar 52,43 meter dan *velocity* tertinggi pada pipa P51 sebesar 0,16 m/s.

4. Tingkat kehilangan air rendah sebesar 3.610,56 m³, atau 7,77%, sedangkan tingkat kehilangan air sedang sebesar 12.841,69 m³ atau 27,64%. Hal ini dapat diklasifikasikan bahwa tingkat kebocoran air yang dialami PDAM Unit Randublatung I adalah rendah dan sedang.
5. Pipa yang dikategorikan sebagai kebocoran rendah sebanyak 89 pipa. Pipa ini sebagian besar berlokasi di Desa Sumberejo. Sedangkan pipa yang dikategorikan sebagai kebocoran sedang sebanyak 221 pipa. Pipa ini sebagian besar berlokasi di Desa Randublatung.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tersebut, dapat diberikan beberapa saran antara lain :

1. Penentuan kebocoran air sebaiknya juga mempertimbangkan parameter lain, seperti faktor luar sebagai pemicu kebocoran tersebut agar data yang dihasilkan lebih valid dengan kondisi eksisting.
2. Pihak PDAM sebaiknya menambah sumber air baku agar dapat mengalirkan air ke seluruh wilayah pelayanan.
3. Penelitian sebaiknya melakukan survei secara langsung ke lapangan yang sering mengalami kebocoran air.
4. Penentuan *sample* kebocoran air sebaiknya mempertimbangkan jarak dengan sumber air baku.

DAFTAR PUSTAKA

- A., Rr. Yossia Herlin. 2013. *Pemanfaatan SIG untuk Monitoring Kebocoran Jaringan Pipa PDAM di Kabupaten Demak*. Skripsi. Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Astuti, Apriliani Wiji. 2017. *Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk Analisis Jangkauan ke Fasilitas Layanan Kesehatan di Kota Malang*. Skripsi. Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang.
- Basuki, Slamet. 2011. *Ilmu Ukur Tanah [Edisi Revisi]*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- BIG. 2009. *Survei dan Pemetaan Nusantara*. Jakarta : Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional.
- Farley, Malcolm dkk. 2008. *Buku Pegangan tentang Air Tak Berekening (NRW) untuk Manajer. Panduan untuk Memahami Kehilangan Air*.
- Indarto. 2013. *Sistem Informasi Geografis*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Joko, Tri. 2010. *Unit Air Baku dalam Sistem Penyediaan Air Minum*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2017. *Peta Infrastruktur Bidang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Kabupaten Blora Provinsi Jawa Tengah Tahun 2017*. <http://loketpeta.pu.go.id/peta/preview/2532>. Diakses pada Minggu. 22 September 2018 pukul 14:16.
- Keputusan Menteri Dalam Negeri Nomor 690-069 Tahun 1992. *Pola Petunjuk Teknis Pengelolaan PDAM*.
- Kusrini. 2006. *Strategi Perancangan dan Pengelolaan Basis Data*. Yogyakarta: CV. Andi Offset.
- Kodoatie, Robert J. dan Roestam Sjarief. 2008. *Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu (Edisi Revisi)*. Yogyakarta : CV. Andi Offset.
- Lewis, AR. 2000. *User Manual EPANET 2.0 Versi Bahasa Indonesia*. Ekamitra Engineering.
- Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 2 Tahun 2007. *Organ dan Kepegawaian Perusahaan Daerah Air Minum*.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007. *Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum*.
- Prahasta, Eddy. 2002. *Konsep-konsep Dasar Sistem Informasi Geografis*. Bandung: Informatika Bandung.
- Priangga, Aditya Alden dan Yanto Budisusanto. 2015. *Pengembangan Sistem Informasi Geografis Berbasis Mobile Android untuk Studi Kebocoran Jaringan Pipa PDAM (Studi Kasus : Sub Zona 109. Kota Surabaya)*. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Putrabahar, Ade. 2010. *Materi: Teori dan Konsep Sistem Penyaluran Air Minum*. Surabaya. Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Puntodewo, dkk. 2003. *Sistem Informasi Geografi untuk Pengelolaan Sumber Daya Alam*. Bogor: CIFOR.
- Raharjo, Beni dan Muhammad Ikhsan. 2015. *Belajar ArcGIS Desktop 10*. Banjarbaru: Geosiana Press.
- Standar Nasional Indonesia Nomor 7509 Tahun 2011. *Tata Cara Perencanaan Teknik Jaringan Distribusi dan Unit Pelayanan Sistem Penyediaan Air Minum*.
- Utami, Ruli dan Erma Suryani. 2016. *Perencanaan Strategis untuk Menekan Tingkat Kehilangan Air PDAM Surabaya dengan Sistem Dinamik*. **Jurnal IPTEK** 20 : 1.
- Wismarini, Th Dwiati dkk. 2014. *Metode Klasifikasi Spasial sebagai Pendukung Informasi Kelas pada Data Indikator Banjir*. **Jurnal Teknologi Informasi Dinamik** 19. 2 : 120-136.